

SIGURNOST I ZAŠTITA NA RADU

Uređuje: Indira Aurer Jezerčić



I. Aurer Jezerčić*

ZGI d. o. o.
Vrandučka 5a
10 000 Zagreb

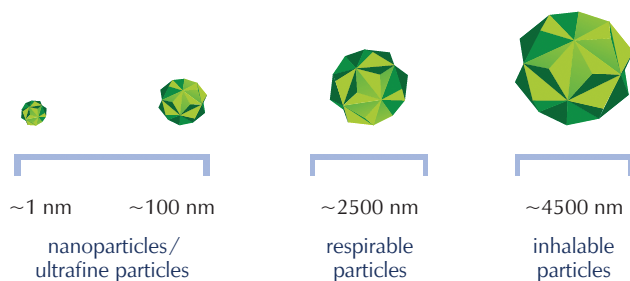
Nanomaterijali na radnom mjestu i mjere zaštite

Europska agencija za sigurnost i zdravlje na radu (EU-OSHA) tijekom 2018. i 2019. godine provodi kampanju u cijeloj Europi kako bi promicala sprječavanje rizika od opasnih tvari na radnom mjestu. Prenosimo savjete o rizicima i mjerama zaštite pri radu s nanomaterijalima koje je objavila.¹

Što je nanotehnologija i nanomaterijali

Nanotehnologija je jedna od vodećih tehnologija 21. stoljeća. Temelji se na metodama i učincima koji omogućuju analizu, kontrolirano mijenjanje i proizvodnju predmeta i struktura čije dimenzije iznose nekoliko nanometara. Ona donosi temeljne promjene u širokom području znanosti, medicine i industrije. Fizikalne i kemijske osobine materijala, kao što su električna provodljivost, boja, talište i reaktivnost, na "nano" razini drastično se mijenjaju. Te izmijenjene osobine nude nove tehnološke mogućnosti; pretvorbe i skladištenja energije, produženje trajanja, zaštite površina, djelovanja kozmetike, dijagnoze i liječenja. Jednom riječju, nanotehnologija je multidisciplinarna tehnologija koja otvara drugačije razvojne potencijale.²

Veličina nanomaterijala usporediva je s atomima i molekulama. Proizvedeni nanomaterijali su materijali u kojima 50 % i više čestica imaju jednu ili više dimenzija između 1 nm i 100 nm.



Slika 1 – Veličine čestica koje ulaze u organizam
(izvor: European Agency for Safety and Health at Work, 2018.)

Čestice u ovom rasponu veličina mogu imati drugačija svojstva od grubljih čestica istog materijala.

Primjeri nanomaterijala koji se danas razvijaju i upotrebljavaju:

- Nanočestice titanijeva dioksida upotrebljavaju se kao UV apsorberi u kozmetičkim proizvodima, bojama i premazima na prozorskim staklima.
- Grafen je tanak i izrazito snažan monoatomski sloj ugljika s vrlo dobrom vodljivošću i velikim potencijalom kod upotrebe u elektronici.

- Ugljične nanocijevi imaju svojstva koja se primjenjuju u električnoj industriji, za pojačanje drugih materijala (npr. u građevinskoj industriji). Ugljične nanocijevi upotrebljavaju se u zaslonima računala.
- Nano-srebro upotrebljava se u medicini, kozmetici i hrani, kao antiseptik u različitim primjenama kao što su boje i premazi, u odjeći, obući i proizvodima za kućanstvo.
- U području medicine nanomaterijali se proučavaju kao moguća sredstva za usmjeravanje lijeka za ciljane organe te za snimke u tijelu (npr. magnetske nanočestice željezova oksida).
- Nanomaterijali se razvijaju kao nanopremazi na površine.

Iako nanomaterijali nude brojne pogodnosti, zabrinutost od njihovih potencijalnih opasnosti za ljudsko zdravlje i okoliš porasla je tijekom proteklih godina.³

Obveze i zahtjevi za zaštitu na radnom mjestu na kojem se upotrebljavaju nanomaterijali jednaki su onima pri radu s drugim opasnim kemikalijama. To uključuje davanje informacija i osposobljavanje radnika, izradu procjene rizika i poduzimanje svih mjera za osiguranje radnog mjesta. Međutim, uvjeti za ispunjavanje tih zahtjeva nešto su drugačiji nego za većinu drugih kemikalija. Znanja o rizicima povezanim s nanomaterijalima još su uvijek ograničena. Nema definiranih graničnih vrijednosti izloženosti na radnom mjestu za nanomaterijale.

Shodno svemu spomenutom mora se primijeniti načelo predostrožnosti kako bi se izloženost zadržala na razini kontroliranog rizika u slučaju da se nanomaterijali pokažu opasnijima nego što se trenutačno zna.

Zdravstveni rizici

Sastav nanomaterijala odgovoran je za vrstu zdravstvenog rizika. Iako nanomaterijali imaju iste vrste učinaka na zdravlje kao i grublje čestice istog materijala, mogu se pojaviti i drugačiji učinci. Kao što je slučaj i s drugim materijalima, i nanomaterijali ulaskom u tijelo mogu se apsorbirati, dalje distribuirati ili metabolizirati. Nanomaterijali su pronađeni u plućima, jetri, bubrežima, srcu, reproduktivnim organima, mozgu, slezeni, kostima, mekim tkivima i u fetusu. Iako još nisu u potpunosti razrađeni mehanizmi zdravstvenih rizika, neki od njih su prepoznati:

- Određeni nanomaterijali dovode do raznovrsnog plućnog oštećenja. Reakcije su akutne ili kronične, a rizik se povećava što su čestice manje. Dolazi i do oštećenja tkiva, oksidativnog stresa, kronične toksičnosti, citotoksičnosti, fibroze i tumora. Neki od njih utječu i na kardiovaskularni sustav tijela.

* Mr. sc. Indira Aurer Jezerčić, dipl. ing. kem. teh.
e-pošta: indira.aurer@gmail.com

¹ Manufactured nanomaterials in the workplace, European Agency for Safety and Health at Work, 2018.

² Dana-Flyer-2018-CRO-internet_v1.pdf, DaNa^{2.0} project

³ <https://oshwiki.eu/wiki/Nanomaterials>

- Pošto su mali, nanomaterijali ulaze u tijelo na način koji nije moguć kod grubljih čestica. Metali i metalni oksidi tako ulaze kroz mirisni živac, a ugljikove nanocijevi prolaze kroz placentu u fetus.
- Vlaknasta, duga, tanka i netopljiva nanovlakna kao što su ugljikove nanocijevi mogu uzrokovati oštećenje pluća u obliku upale, granuloma i fibroze. Takvi učinci nisu uočeni kod miševa izloženih čađi (isti materijal, ali u obliku nanočestica, a ne u obliku nanovlakana). Iz toga se zaključilo da neke vrste ugljikovih nanocijevi mogu dovesti do zdravstvenih učinaka sličnih azbestu. Međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC) klasificirala je ugljikove nanocijeve MWCNT-7 kao moguće uzročnike karcinoma kod ljudi (skupina 2B). S druge strane se pokazalo da sve ugljikove nanocijevi ne uzrokuju iste učinke na zdravlje. Zbog svojih površinskih svojstava neke ugljikove nanocijevi ne uzrokuju granulom ili fibrozu, a također je pokazano da se pod određenim uvjetima ugljikove nanocijevi mogu metabolizirati i izlučiti.

Ne valja zanemariti povećani rizik od eksplozije, zapaljivosti i katalitičkog potencijala u slučaju nanomaterijala u obliku praha (nanoprah). Temperatura samozapaljenja također se smanjuje što su čestice finije. Nanomaterijali mogu aglomerirati (stvarati slabo povezane skupine), ali one bitno ne utječu na njihovu ukupnu površinu.

Neki od mehanizama djelovanja nanomaterijala na zdravlje već su uočeni, ali predstoji još dosta rada da bi se oni u potpunosti prepoznali. Do tada, moraju se uzeti u obzir dokazi koji upućuju na to da su neki nanomaterijali otrovniji od grubljih čestica istog materijala i shodno tome primijeniti veće mjere opreza.

Do sada su obavljene studije o zdravstvenom učinku nanomaterijala koje se temelje na pokusima provedenim na staničnim kulturama i laboratorijskim životinjama. Malo je dokaza o utjecaju na zdravlje ljudi nakon stvarnog izlaganja proizvedenim nanomaterijalima.

Putovi izlaganja

Glavni putovi izlaganja i unošenja nanomaterijala su udisanje, preko kože te gutanje. Nakon unošenja mogu se javiti zdravstveni rizici, odnosno pritužbe ili pojave bolesti radnika. Izloženost proizvedenim nanomaterijalima može se dogoditi tijekom bilo koje faze njihova životnog ciklusa, tijekom proizvodnje, tijekom upotrebe (životni vijek) ili tijekom recikliranja, obrade i odlaganja.

Udisanjem

Kada se nanomaterijali ručno isipavaju iz vreće, utovaraju/istovaraju iz spremnika ili se dogodi prosipanje, javlja se visok rizik od izlaganja. Čak i kod obrade nanomaterijala u zatvorenim sustavima, izloženost se javlja kao posljedica propuštanja ili nezgoda. Izloženost se može pojaviti pri rukovanju otpadom koji sadrži nanomaterijale.

Nanomaterijali se javljaju u obliku suspenzije, paste, granula ili kao sastavni dio krutine. Tada je izlaganje ograničeno, no ukoliko se stvara aerosol kod prskanja, posipavanja ili se granule melju, može doći do formiranja nanočestica. Do izlaganja može doći ukoliko se suspenzija ili pasta suši pa se zaostali suhi nanomaterijal vrtloži u okolnom zraku. Do izlaganja može doći tijekom čišćenja i održavanja strojeva.

Putem kože

Za neke nanomaterijale to je uobičajen način izlaganja jer su oni u kozmetici namijenjeni za uporabu na koži. Za sada se smatra da se nanomaterijali manje apsorbiraju kroz kožu nego što ula-

ze dišnim putem. Međutim, oštećena koža, kao što su rane ili ekcemi, može propuštati vrlo male količine nanomaterijala. Za sada se to smatra zanemarivim ili vrlo niskim rizikom. Unatoč tome, treba ga izbjegavati kako bi se spriječilo slučajno gutanje i izlaganje supstancijama koje bi se mogle apsorbirati kroz kožu, a da to još nije poznato.

Gutanjem

Manje je vjerojatno da će se desiti gutanje nanomaterijala na radnom mjestu iako loša higijena može uzrokovati takvu izloženost. To je slučaj kada radnici ne peru ruke ili ne mijenjaju odjeću nakon rada, a nakon toga primaju hranu i piće kontaminiranim rukama. Nedavna studija je pokazala da gutanje nanočestica srebra nije rezultiralo nikakvim klinički učincima kod 60 osoba koje su bile podvrgnute eksperimentu.

Procjena rizika

Sve aktivnosti koje podrazumijevaju rukovanje suhim nanomaterijalima izvan zatvorenog postrojenja/sustava mogu se smatrati rizičnima. Međutim, izloženost je moguća i kod zatvorenih sustava u slučaju propuštanja ili tijekom čišćenja i održavanja. Takve izloženosti treba analizirati kroz procjenu rizika i provesti privremene mjere. Nanočestičnu prašinu nije moguće vidjeti na isti način kao druge vrste prašine i to treba uzeti u obzir u procjeni rizika. Rizici se razlikuju ovisno o vrsti nanomaterijala. Smatra se da su najveći rizici izloženost netopljivim ili slabo topljivim nanovlaknima duljim od 5 μm i koji imaju omjer duljine i visine veći od 3 : 1. Izlaganje nanomaterijalima koji su topljivi u vodi smatra se manje rizičnim.

Rizici se često procjenjuju na temelju rezultata mjerenja nanočestica u zraku. Postupci mjerenja su razvijeni, ali nisu jednostavni i zahtijevaju posebne mjerne sustave. Razvijena je mjerna strategija koja kombinira mjerenja s različitim tipovima instrumenata za izravno očitavanje različitih frakcija čestica s mjerenjima koja se izvode uporabom tehnika filtriranja i analize pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM). Pri analizi filtra postoji rizik da se dio čestica "skriva" u porama filtra, pa nisu vidljive putem SEM-a.



Slika 2 – Instrument za mjerenje broja i veličine nanočestica (izvor: www.testo-particle.com)

Instrumenti za izravno očitavanje prate broj čestica, bez obzira na sastav čestica. Ta tehnika ima nedostatak u interferenciji drugih prisutnih čestica na one od interesa (koje se žele izmjeriti). Na primjer, takav instrument će zabilježiti sve, kao što je dim cigarete, zavarivanje, lemljenje i širenje para.

Danas postoje dvije standardizirane metode mjerenja čestica: brojenje (br. čestica/cm³) i mjerenje mase (mg m⁻³). Obično se primjenjuje mjerenje mase. Pitanje na koje je svoj odgovor dao prof. Peter Gehr, University of Bern, Switzerland – Institute of Anatomy glasi:⁴

Zašto mjerenje mase s PM10 za nanočestice nema smisla i zašto je brojenje nanočestica tako važno?

Mjerenja PM10 vrlo lako se provode i već su duže vrijeme u upotrebi. Međutim, mjerenjem mase, jednostavno, ne bilježite nanočestice. Mjerenje pomoću PM10 vam apsolutno ništa ne govori o nanočesticama. Nanočestice, međutim, mogu biti veći problem za tijelo nego veće čestice jer udisanjem mogu lako ući u stanice, tkiva i krvne žile. Takvu ekspoziciju zabilježite samo ako mjerite broj nanočestica, koje su stvarna problematična komponenta čestica u onečišćenju zraka. Razlog zbog kojeg su problematične je taj što lako ulaze u dublje dijelove organizma.

Ne postoji konsenzus o tome koja osobina ima najveću važnost za učinke nanomaterijala na zdravlje. Također, nije normirano/zadano koji je parametar – masena koncentracija, koncentracija broja ili površina nanomaterijala u zraku – odgovarajuća mjera za procjenu utjecaja na zdravlje. Najvažniji parametar može ovisiti o vrsti nanomaterijala i učinku na zdravlje.

Ukratko, kada se provodi procjena rizika nanomaterijala na radnom mjestu, postoje poteškoće vezane uz:

1. nedovoljne informacije o opasnim svojstvima nanomaterijala;
2. ograničenja u metodama i uređajima koji se upotrebljavaju za mjerenje razine izloženosti i identifikaciju vrste i izvora emitiranja nanomaterijala.

Za sada postoji nedostatak informacija o prisutnosti nanomaterijala, posebno u smjesama ili proizvodima kao i postupcima njihove proizvodnje i obrade.

Procjena rizika proizvedenih nanomaterijala trebala bi uključivati:

1. popis nanomaterijala koji se upotrebljavaju na radnom mjestu;
2. podatke o zdravstvenim rizicima nanomaterijala, koji se obično nalaze u sigurnosno-tehničkim listovima;
3. procjenu izloženosti udisanjem, putem kože i gutanjem;
4. postupke koji su nužni za smanjenje izloženosti i akcijski plan koji određuje što treba učiniti, tko i kada;
5. analizu rizika za ugrožene radnike, kao što su mladi radnici i trudnice ili dojilje te ako je potrebno poduzeti posebne mjere kako bi ih se zaštitilo;
6. redovitu reviziju procjene rizika;
7. ocjenjivanje poduzetih radnji i, ako je potrebno, poboljšanje akcijskog plana.

Procjena rizika mora se temeljiti na načelu predostrožnosti, uzimajući u obzir sljedeće:

- Ima li vrsta nanomaterijala visok rizik za zdravlje?
- Je li prisutna visoka razina izloženosti tijekom uobičajenog rada i u slučaju nesreće?

Visoko rizični nanomaterijali i visoke razine izloženosti vrlo su visok rizik i zahtijevaju hitno djelovanje. Nanomaterijali niskog rizika i niska razina izloženosti zahtijevaju manje neposredne ili čak nikakve akcije.

Poduzimanje mjera i upravljanje rizicima

Propisi o zaštiti na radu propisuju "hijerarhiju" mjera za sprječavanje ili smanjenje izloženosti opasnim tvarima. Redoslijed u hijerarhiji poznat je i kao načelo STOP:

S = Zamjena (engl. *substitution*) (također obuhvaća potpunu eliminaciju opasne tvari)

T = Tehnološke mjere

O = Organizacijske mjere

P = Osobne (engl. *personal*) zaštitne mjere.

S = Zamjena

Teško je zamijeniti nanomaterijal jer se upotrebljava zbog svojih jedinstvenih tehničkih svojstava. Međutim, nanomaterijalom treba nastojati rukovati tako da je izlaganje minimalno. Na primjer, u tekućem obliku, kao suspenzijom ili pastom, ili vezanim na krutinu. Time će se znatno smanjiti izlaganje, osobito udisanjem. Treba izbjegavati sprejanje nanomaterijala u tekućine jer se mogu pojaviti u aerosolu.

T = Tehnološke mjere

Nanomaterijali u zraku mogu se usporediti s aerosolima i mogu se kontrolirati primjenom sličnih mjera kao što su one za aerosole. Zbog njihove male mase kinetička energija im je vrlo niska pa se ponašaju kao plin, a ne kao prašina. Odabir tehnologije ovisi o opsegu izloženosti. Zatvoreni sustavi i ventilacija učinkoviti su načini smanjenja izloženosti. Na moguća propuštanja u sustavu, održavanje, popravak i čišćenje mora se posebno obratiti pažnja.

Osim što su zatvoreni sustavi prikladni za zaštitu procesa rada i proizvoda od onečišćenja, najbolja su tehnološka mjera i za zaštitu zdravlja radnika koji rade u tom procesu.

Lokalna ventilacija i opća ventilacija sprječavaju širenje nanomaterijala u zrak na mjesto rada i u okolni prostor. Za uklanjanje nanočestica s izvora mora se primjenjivati odgovarajući sustav filtriranja. To je višestupanjski sustav s visokoučinkovitim filtrima (HEPA).

O = Organizacijske mjere

Organizacijske mjere uključuju informiranje radnika o rizicima, o opasnostima nanomaterijala, preventivnim mjerama koje se moraju primijeniti i pravilima koja se moraju slijediti. Treba naglasiti načelo predostrožnosti s obzirom na još uvijek ograničeno znanje o opasnostima za zdravlje i sigurnost nanomaterijala. Potrebno je izraditi radne upute za postupanje pri radu s nanomaterijalima i dati ih radnicima. Treba ih nadograđivati i ažurirati u svrhu njihova poboljšanja.

Organizacijske mjere su i smanjenje broja izloženih radnika i radnih sati na takvom radnom mjestu. Pristup područjima gdje može doći do izlaganja, treba ograničiti postavljanjem znakova sigurnosti i opasnosti.

P = Osobne zaštitne mjere

Kada gore opisane mjere nisu dovoljne, treba rabiti osobnu zaštitnu opremu. To je uglavnom zaštita tijela (radna odjeća) zajedno s rukavicama i naočalama. Podatci o preporučenoj osobnoj zaštitnoj opremi moraju se navesti u sigurnosno-tehničkim listovima za kemijske proizvode koji sadrže nanomaterijale. Pod uvjetom da je odgovarajuća, osobna zaštitna oprema može pružiti dobru zaštitu od nanomaterijala.

⁴ Testo, Handheld diffusion size classifier for nanoparticle measurement.